กลยุทธ์การปรับปรุงคุณค่าทางโภชนะของเศษเหลือทางการเกษตรและโรงงานอุตสาหกรรม ด้วยจุลินทรีย์โปรไบโอติก เพื่อเป็นอาหารสัตว์

Strategies to Improve Nutritive Value of Agro-industrial by Product by Using Microbial Probiotics for Animal Feeding

วาสนา ศิริแสน[1] และกิตติ วิรุณพันธุ์[2]

Vatsana Sirisan[1] and Kitti Wirunpan[2]

บทคัดย่อ

การขาดแคลนวัตถุดิบอาหารสัตว์ทั้งในด้านปริมาณและคุณภาพถือว่าเป็นปัญหาสำหรับการผลิตปศุสัตว์ การนำใช้เศษเหลือทางการเกษตรและทางโรงงานอุตสาหกรรมมาเป็นอาหารสัตว์ จึงเป็นแนวทางในการลดปัญหาการขาดแคลนอาหารสัตว์ลงได้ แต่เศษเหลือส่วนใหญ่มีคุณค่าทางโภชนะที่ต่ำ ทำให้มีข้อจำกัดในการใช้ประโยชน์ได้โดยตัวสัตว์ ดังนั้นวัตถุประสงค์ของการทบทวนเอกสารเพื่อหาแนวทางในการใช้จุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ในการปรับปรุงคุณภาพเศษเหลือเพื่อใช้เป็นอาหารสัตว์ โดยจุลินทรีย์ที่นิยมใช้เพื่อช่วยเพิ่มโปรตีนของเศษเหลือ ประกอบด้วยกลุ่มเชื้อยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* เชื้อรา *Rhizopus oryzae, Aspergillus niger* และแบคทีเรีย *Lactobacillus delbruckii, L. coryneformis* โดยพบว่าเมื่อหมักร่วมกับกากมันสำปะหลังและเปลือกมันสำปะหลัง สามารถเพิ่มโปรตีนได้กว่า 40 เปอร์เซ็นต์ และจุลินทรีย์ที่ช่วยลดองค์ประกอบของเยื่อใยประกอบด้วยกลุ่มเชื้อรา *Trichoderma harzianum, T. reesei*, *A. niger*, *A. terrens*, *A. oryzae*, *A. phoenicis* และกลุ่มแบคทีเรีย *Penicilium* sp. ทั้งนี้เนื่องจากกลุ่มจุลินทรีย์ดังกล่าวสามารถผลิตเอนไซม์ที่ย่อยเยื่อใย เพื่อเปลี่ยนเป็นสารประกอบอินทรีย์และทำให้องค์ประกอบเยื่อใยลดลง แต่การพิจารณาเลือกใช้ชนิดของจุลินทรีย์ให้เหมาะสมกับเศษเหลือชนิดนั้น ๆ จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการช่วยปรับปรุงคุณภาพของเศษเหลือให้เหมาะสมกับการนำใช้ประโยชน์ได้โดยตัวสัตว์ จึงเป็นแนวทางลดปัญหาการขาดแคลนวัตถุดิบอาหารสัตว์ลงได้

คำสำคัญ : จุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ เศษเหลือทางการเกษตรและโรงงานอุตสาหกรรม องค์ประกอบโปรตีน องค์ประกอบเยื่อใย

[1]คณะสัตวแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม จ. มหาสารคาม 44000

[2]คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี จ.อุบลราชธานี 34000

[1]Faculty of Veterinary science. Mahasarakham University, 44000

[2]Faculty of Agriculture Ubon Ratchathani Ratchabhat University. 34000

Abstract

Rack of animal feedstuffs in term of qualities and quantities are most of the problem for livestock production. Using agro industrial by- product as animal feedstuffs is one of the way to solve these problem. However, most of them usually have a composition rich in fiber content and low of crude protein content. Therefore, the objective of this study was to review the role of microbial probiotics to improving the nutritive value of agro-industrial waste for use as animal feed. The microbial probiotics could improve crude protein content which consisted of *Saccharomyces cerevisiae, Rhizopus oryzae, Aspergillus niger* and *Lactobacillus delbruckii, L. coryneformis*. Most of them which fermented with cassava pulp and cassava peel could improve crude protein content more than 40 percentages. The microbial probiotics can be reduced fiber content which consisted of *Trichoderma harzianum, T. reesei*, *A. niger*, *A. terrens*, *A. oryzae*, *A. phoenicis* and *Penicilium* sp. Most of these can be released fibrolytic enzyme; especially lignocellulases exploited the available of organic compound and reducing fiber content. Optimizing of microbial probiotics and agro industrial by product is appropriate methods to improving the nutritive value for use as animal diets. As consequently; the lack of animal feedstuff was solved.

Keywords : Microbial probiotics, agro industrial by- product, protein content, crude fiber content

บทนำ

ปัจจุบันนี้การเลี้ยงสัตว์ได้มีการพัฒนาองค์ความรู้ทั้งทางด้านพันธุ์ อาหาร และการจัดการควบคู่กันไป เพื่อให้เกิดการตอบสนองต่อการให้ผลผลิตที่เพิ่มขึ้น และในขณะเดียวกันก็มีต้นทุนในการผลิตสัตว์ที่ลดลงร่วมด้วย โดยเฉพาะอาหารสัตว์ถือว่าเป็นต้นทุนหลักในการเลี้ยงสัตว์คิดเป็นสัดส่วน 60-75 เปอร์เซ็นต์ของต้นทุนการผลิตทั้งหมด ดังนั้นในการจัดการให้อาหารสัตว์ที่มีทั้งปริมาณและโภชนะตรงตามความต้องการของสัตว์ทั้งทางด้านการเจริญเติบโต การให้ผลผลิต การสืบพันธุ์และเพื่อการดำรงชีพ จึงเป็นสิ่งสำคัญและจำเป็นอย่างยิ่งยวด แต่ปัจจุบันนี้กระแสการผลิตสัตว์มุ่งเน้นไปในเชิงอุตสาหกรรมเพิ่มมากขึ้น จึงก่อให้เกิดการขาดแคลนวัตถุดิบอาหารสัตว์ทั้งทางด้านปริมาณและคุณภาพ ซึ่งถือว่าเป็นปัญหาที่สำคัญของนักผลิตสัตว์ ดังนั้นในการนำใช้เศษเหลือทางการเกษตรและจากโรงงานอุตสาหกรรม (agro-industrial by product) มาใช้เป็นอาหารสัตว์ จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่ได้รับความนิยมควบคู่ไปกับกระแสการผลิตสัตว์ในยุคปัจจุบันนี้ เพื่อเป็นการบรรเทาการขาดแคลนวัตถุดิบอาหารสัตว์บางชนิด แต่อย่างไรก็ตามเศษเหลือที่นำมาใช้เป็นอาหารสัตว์เหล่านั้นส่วนใหญ่มีคุณค่าทางโภชนะที่ค่อนข้างน้อยหรือมีเยื่อใยค่อนข้างสูง

ทำให้มีข้อจำกัดในการใช้ประโยชน์ได้โดยตัวสัตว์ ดังนั้นเพื่อให้เกิดการตอบสนองต่อการใช้ประโยชน์ของสัตว์ได้สูงสุดจึงมีการมุ่งเน้นด้านการปรับปรุงคุณภาพวัตถุดิบอาหารสัตว์ก่อนนำมาใช้เลี้ยงสัตว์ ปัจจุบันนี้ด้วยกระแสตื่นตัวเกี่ยวกับผลตกค้างของสารเคมี หรือสารปฏิชีวนะในอาหารสัตว์และในผลิตภัณฑ์ ที่มีผลต่อความปลอดภัยของผู้บริโภครวมถึงสิ่งแวดล้อม นักโภชนะศาสตร์สัตว์และนักจุลชีววิทยาจึงได้หันมาให้ความสนใจในการใช้จุลินทรีย์โปรไบโอติกเสริมในอาหารสัตว์เพื่อให้สัตว์กินโดยตรง (direct fed microbial) หรือเพื่อปรับปรุงคุณค่าทางโภชนะของวัตถุดิบอาหารสัตว์ก่อนนำไปใช้เลี้ยงสัตว์ จากการรายงานการศึกษาที่ผ่านมาพบว่ามีจุลินทรีย์โปรไอติกที่นิยมใช้ปรับปรุงคุณค่าทางโภชนะของอาหารสัตว์โดยการเพิ่มองค์ประกอบของโปตีน และการเพิ่มการใช้ประโยชน์ได้ของอาหารเยื่อใย ได้แก่ *Aspergillus niger, A. fumigates, Rhizopus oryzae, R. stolonifer* และ *Saccharomyces cerevisiae* เป็นต้น Oboh et al. (2002) ใช้เชื้อ *A. niger* หมักร่วมกับกากมันสำปะหลัง พบว่าสามารถเพิ่มโปรตีนของกากมันหมักได้ สอดคล้องกับ Oboh และ Akindahunsi (2005) หมักกากมันสำปะหลังด้วย *S. cerevisia* พบว่าสามารถเพิ่มปริมาณโปรตีนของกากมันหมักได้จาก 4.4 เป็น 10.9 เปอร์เซ็นต์

ดังนั้นวัตถุประสงค์ของการทบทวนเอกสารเพื่อศึกษากลยุทธ์หรือแนวทางในการใช้จุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ในการปรับปรุงคุณภาพอาหารสัตว์ ในแง่ของการเพิ่มโปรตีน และการปรับปรุงคุณภาพอาหารเยื่อใย เพื่อให้เกิดการนำใช้ประโยชน์ได้จากแหล่งวัตถุดิบที่เป็นเศษเหลือทิ้งทางการเกษตรหรือทางโรงงานอุตสาหกรรมโดยตัวสัตว์ได้สูงสุด อันจะเป็นแนวทางในการแก้ปัญหาการขาดแคลนอาหารสัตว์ร่วมด้วยกับการที่สัตว์ได้รับโภชนะที่เหมาะสมหรือตรงกับความต้องการของสัตว์ได้อย่างแท้จริง

แนวทางการใช้จุลินทรีย์ปรับปรุงคุณภาพเศษเหลือทางการเกษตรและโรงงานอุตสาหกรรม

เศษเหลือทางการเกษตรหรือทางโรงงานอุตสาหกรรม หรือแม้แต่วัชพืชที่ขึ้นตามแหล่งน้ำธรรมชาติที่มีการนำมาใช้เป็นอาหารสัตว์จำเป็นต้องผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพก่อนนำไปใช้ในการเลี้ยงสัตว์ อาจเนื่องมาจากเศษเหลือส่วใหญ่มีความชื้นสูงทำให้เกิดการเน่าเสียได้ง่าย หรือมีโปรตีนต่ำ และ/หรือมีองค์ปะกอบของเยื่อใยค่อนข้างสูงทำให้การนำใช้ประโยชน์โดยตัวสัตว์ลดลง เป็นต้น ดังนั้นการผ่านกรรมวิธีการปรับปรุงคุณภาพก่อนนำมาใช้เลี้ยงสัตว์จึงน่าจะช่วยให้เกิดการใช้ประโยชน์ได้ของสัตว์เพิ่มมากขึ้น โดยวิธีการปรับปรุงคุณภาพมีตั้งแต่วิธีทางกายภาพ โดยการสับ บด เพื่อลดขนาดลง ส่วนทางเคมี โดยการเลือกใช้สารเคมีที่มีคุณสมบัติเป็นกรด หรือเป็นด่างที่รุนแรงในการทำลายพันธะ หรือโครงสร้างทางเคมี ที่ได้รับความนิยมคือ NaOH, KOH และCa(OH)2 เป็นต้น และทางชีวภาพ ส่วนมากจะเป็นการคัดเลือกใช้จุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ (เสริมในอาหารสัตว์โดยตรงหรือเติมจุลินทรีย์ลงไปให้เกิดการหมักย่อยเพื่อเปลี่ยนโครงสร้างทางเคมี หรือองค์ประกอบของสารเพิ่มขึ้น ให้อยู่ในรูปที่สัตว์สามารถใช้ประโยชน์ได้ดีขึ้น (Chaji et al., 2010) ดังนั้นการใช้เชื้อจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ในการปรับปรุงคุณภาพของเศษเหลือทางการเกษตรหรือทางโรงงานอุตสาหกรรมจะประกอบด้วยการปริมาณเพิ่มโปรตีน และการเพิ่มการใช้ประโยชน์ได้ของอาหารเยื่อใย เป็นต้น โดยแบ่งตามชนิดของจุลินทรีย์และคุณสมบัติพิเศษเฉพาะสายพันธุ์นั้น ๆ ได้ดังนี้

1. การปรับปรุงคุณค่าทางโภชนะโปรตีน

เชื้อจุลินทรีย์ที่มีการศึกษาการนำใช้เพื่อเพิ่มโปรตีนในเศษเหลือ ฯ ส่วนใหญ่อยู่ในกลุ่มของเชื้อราและเชื้อยีสต์ โดยเฉพาะยีสต์ *S. cerevisiae* ในเซลล์จะอุดมไปด้วยโปรตีน 40-60 เปอร์เซ็นต์ กรดอะมิโนไลซีน (lysine) และ ฮีสทิดีน (histidine) (Rossi et al., 2004) รวมทั้งเมื่อเซลล์ยีสต์ที่ตายลงไปจะผ่านการถูกย่อยโดยน้ำย่อยจากสัตว์ทำให้สัตว์ได้รับสารอาหารที่มีอยู่ใน

เซลล์ยีสต์ได้อีกช่องทางหนึ่งด้วย นอกจากนี้โดยคุณสมบัติของยีสต์สามารถใช้ประโยชน์จากน้ำตาลและแป้งเพื่อการเจริญเติบโตและสร้างสารที่มีประโยชน์ อย่างไรก็ตามมีรายงานการศึกษาการนำเชื้อยีสต์มาหมักร่วมกับกากมันสำปะหลัง (cassava pulp) เปลือกมันสำปะหลัง (cassava peels) และแป้งมันสำปะหลัง (cassava flour) ทั้งนี้เนื่องจากเศษเหลือจากมันสำปะหลังในส่วนต่าง ๆ มีข้อจำกัดในการใช้เป็นอาหารสัตว์ ได้แก่ แป้งมันมีปริมาณโปรตีนค่อนข้างต่ำ โดยแป้งมันมีโปรตีนประมาณ 3 เปอร์เซ็นต์ เปลือกมันมี 1.66 เปอร์เซ็นต์ โดยเฉพาะกากมัน และเปลือกมันจะมีสารพิษไซยาไนด์ (Cyanide) เป็นองค์ประกอบคิดเป็นสัดส่วน 15-400 มก./กก. ของน้ำหนักสด (Preston, 2001 อ้างโดย Okpako et al., 2008) โดยจากรายงานการศึกษาพบว่าสารไซยาไนด์ที่ระดับ 50-100 มก. ก็สามารถทำให้สัตว์ตายได้ หรือก่อให้เกิดโรคต่างๆ เช่น ขาเป็นอัมพาต เกิดการบวมของต่อมไทรอยด์ เกิดอาการ ataxic neuropathy (มีอาการชา ความรู้สึกผิดปกติ ตาพร่ามัว สูญเสียการมองเห็น เสียการทรงตัว หูหนวก ขาลีบ) เป็นต้น (Adewusi et al., 1999 อ้างโดย Okpako et al., 2008) ดังนั้นจากปริมาณโปรตีนต่ำรวมทั้งมีปริมาณสารพิษไซยาไนด์เป็นองค์ประกอบที่ค่อนข้างสูงในมันสำปะหลัง จึงได้มีการศึกษาการเพิ่มปริมาณโปรตีนและลดสารพิษไซยาไนด์ เพื่อเป็นการเพิ่มการใช้ประโยชน์โดยตัวสัตว์ได้เพิ่มขึ้น จากการศึกษาของ Oboh and Akindahunsi (2003) ทำการหมักกากมันสำปะหลังด้วยเชื้อยีสต์ *S. cerevisiae* เป็นระยะเวลา 3 วัน พบว่า สามารถเพิ่มปริมาณโปรตีนของกากมันสำปะหลังหมักจาก 4.4 เป็น 10.9 เปอร์เซ็นต์ และลดสารไซยาไนด์จาก 21.3 เหลือ 9.5 มก./กก. ได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) Kaewwongsa et al. (2011) ศึกษาการเพิ่มโปรตีนในกากมันสำปะหลังโดยการหมักร่วมกับเชื้อยีสต์ *S. cerevisiae* ที่ระดับ 0 0.5 2.5 และ 5 กรัม ที่ระยะเวลาการหมัก 0 1 3 และ 5 วัน ตามลำดับ พบว่าปริมาณโปรตีนของกากมันสำปะหลังหมักยีสต์เพิ่มขึ้นในวันที่ 5 ของการหมักตามระดับการเติมเชื้อที่เพิ่มขึ้น (13.10 21.50 21.70 และ 26.40 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) นอกจากนี้การใช้เชื้อจุลินทรีย์หลายชนิดผสมกัน (mixed culture) ยังสามารถช่วยปรับปรุงคุณภาพโปรตีนของเศษเหลือจากเปลือกมันสำปะหลังได้ จากการศึกษาของ Oboh et al. (2006) ในการปรับปรุงคุณค่าทางโภชนะของเปลือกมันสำปะหลังโดยการใช้เชื้อยีสต์และเชื้อแบคทีเรีย 3 ชนิด คือ *Lactobacillus delbruckii, L. coryneformis* และ *S. cerevisiae* หมักร่วมกันที่อัตราส่วนของเชื้อ 2:1:1 ตามลำดับ เปรียบเทียบกับหมักแบบไม่เติมเชื้อ และเปลือกมันสำปะหลังที่ไม่หมัก ตามลำดับ พบว่าเปลือกมันสำปะหลังที่หมักแบบเติมเชื้อมีองค์ประกอบของโปรตีนเพิ่มขึ้น (21.5 11.1 และ 8.2 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) และสารพิษไซยาไนด์มีปริมาณลดลง (6.2 23.3 และ 44.6 มก./กก. ตามลำดับ) เมื่อเปรียบเทียบกับการหมักแบบไม่เติมเชื้อและเปลือกมันสำปะหลังที่ไม่หมักตามลำดับ นอกจากนี้จากการศึกษาของ Okpako et al. (2008) ในการใช้เชื้อ *A. niger* และ *Lactobacillus rhamnosus* หมักร่วมกับเปลือกมันสำปะหลังเป็นระยะเวลา 7 วัน พบว่าปริมาณโปรตีนเพิ่มขึ้นจาก 5.50 เป็น 24.4 เปอร์เซ็นต์ และสารพิษไซยาไนด์ลดลงจาก 40.33 เป็น 7.35 มก./กก. เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ไม่หมักร่วมกับเชื้อ สอดคล้องกับ Oboh et al. (2002) ได้ทำการหมักกากมันสำปะหลังด้วยเชื้อรา *A. niger* โดยทำการหมักเป็นระยะเวลา 3 วัน พบว่าการหมักมันสำปะหลังด้วยเชื้อราสามารถเพิ่มปริมาณโปรตีนจาก 4.4 เป็น 12.2 เปอร์เซ็นต์ และลดสารพิษไซยาไนด์จาก 21.3 เหลือ 9.1 มก./กก. และจากการศึกษาของ Mbah et al. (2013) ในการปรับปรุงคุณภาพของเปลือกมันสำปะหลังหมักด้วยเชื้อ *A. niger* ที่อุณหภูมิ 30 ^{0}C เป็นเวลา 10 วัน พบว่าสามารถเพิ่มองค์ประกอบโปรตีนได้จาก 4.85 เป็น 15.86 เปอร์เซ็นต์ และองค์ประกอบของเยื่อใยรวม (crude fiber, CF) มีปริมาณลดลงจาก 68.2 เป็น 7.82 เปอร์เซ็นต์

นอกจากนี้มีเชื้อรา *Rhizopus oryzae* ที่สามารถปรับปรุงคุณภาพโปรตีนของกากมันสำปะหลังได้จากการศึกษาของ Akindahunsi et al. (1999) ได้ทำการหมักแป้งมันสำปะหลังด้วยเชื้อรา *R.oryzae*

เป็นเวลา 3 วันพบว่าสามารถเพิ่มโปรตีนได้จาก 4.43 เป็น 8.66 เปอร์เซ็นต์ และสามารถลดสารพิษไซยาไนด์ได้จาก 21.3 เหลือเป็น 17.2 มก./กก. อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ดังนั้นจากข้อมูลการศึกษาเกี่ยวกับการปรับปรุงคุณภาพของส่วนประกอบต่าง ๆ ของมันสำปะหลังโดยใช้เชื้อจุลินทรีย์ในกลุ่มของเชื้อรา พบว่าสามารถเพิ่มองค์ประกอบของโปรตีน แต่สามารถลดปริมาณเยื่อใย และสารพิษไซยาไนด์ลงได้ (ตารางที่ 1) ทั้งนี้เนื่องจากเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในกระบวนการหมักสามารถนำใช้คาร์โบไฮเดรตที่มีอยู่ในมันสำปะหลังมาเป็นแหล่งคาร์บอนสำหรับการเจริญเติบโตและการเพิ่มจำนวนเซลล์จึงทำให้มีโปรตีนสูงขึ้น แต่อย่างไรก็ตามเพื่อให้การปรับปรุงคุณภาพโปรตีนของมันสำปะหลังมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นจึงจำเป็นต้องใช้ทั้งเชื้อยีสต์และเชื้อราหมักร่วมกัน สอดคล้องกับการรายงานของ Senez et al.(1980) กล่าวว่าเชื้อยีสต์ และเชื้อราจะสามารถเจริญเติบโตได้ดีในมันสำปะหลัง แต่เชื้อยีสต์จะมีความสามารถในการย่อยแป้ง (starch) ในมันสำปะหลังได้น้อย ส่วนเชื้อราจะมีเอ็นไซม์อะไมเลส (amylase) ที่สามารถย่อยแป้งในมันสำปะหลังให้เป็นน้ำตาลได้ และยีสต์จะใช้น้ำตาลที่ผลิตจากเชื้อราเพื่อเป็นแหล่งของคาร์บอนในการเจริญเติบโต และสร้างโปรตีนในเซลล์ ดังนั้นในการพิจารณาใช้จุลินทรีย์ทั้งสองชนิดหมักร่วมกันจึงน่าจะเป็นแนวทางในการเพิ่มคุณภาพโปรตีนของเศษเหลือจากมันสำปะหลังได้

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของเศษเหลือจากมันสำปะหลังหมักด้วยเชื้อจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์

Type of microbial	Type of cassava by product	process	Chemical composition							Source
			CP	EE	CHO	CF	Ash	Cyanide	Tannin	
R. oryzae	แป้งมัน	ไม่หมัก	4.4	3.8	85.7	3.8	2.3	21.3	0.2	Akindahunsi
	สำปะหลัง	หมัก	8.7	2.0	81.6	3.5	4.3	17.2	0.2	et al (1999)
A.niger	กากมัน	ไม่หมัก	4.4	2.6	-	3.8	2.1	21.3	0.2	Oboh et al
	สำปะหลัง	หมัก	12.2	5.7	-	3.0	4.5	9.1	0.2	(2002)
S. cerevisia	กากมัน	ไม่หมัก	4.4[b]	3.6	85.7[a]	3.8	2.1	21.3[a]	0.2	Oboh and
	สำปะหลัง	หมัก	10.9[a]	4.5	77.9[b]	3.2	3.5	9.5[b]	0.2	Akindahunsi (2003)
S. cerevisia +	เปลือกมัน	ไม่หมัก	8.2[b]	3.1[a]	64.6[a]	12.5	6.4[b]	44.6[a]	-	Oboh (2006)
L.delbruckii +	สำปะหลัง	หมัก	21.5[a]	2.1[b]	51.1[b]	11.7	7.2[a]	6.2[b]	-	
L.corynefornus										
R. stolonifer	เปลือกมัน	ไม่หมัก	12.3	5.8	-	14.7	9.4	14.7	-	Lateef et
LAU 07	สำปะหลัง	หมัก	19.0	3.7	-	13.5	11.8	1.4	-	al(2008)

นอกจากนี้ยัง พบว่า จุลินทรีย์ในกลุ่มเชื้อราและแบคทีเรียยังสามารถปรับปรุงคุณภาพโปรตีนของเศษเหลือทางการเกษตรชนิดอื่น ๆ ได้ เช่นเดียวกัน โดยจากการศึกษาของ Marini et al. (2008) ในการปรับปรุงคุณภาพโปรตีนของกากเนื้อในปาล์มโดยหมักร่วมกับเชื้อรา *A. niger* เปรียบเทียบกับกากเนื้อในปาล์มที่ไม่หมัก พบว่า กากเนื้อในปาล์มหมักเชื้อมีปริมาณโปรตีน (24.7 และ 7.5 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) กรดอะมิโนที่จำเป็นทั้งหมด (15.67 และ 14.85 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม และจากการศึกษา

ของ Yamaya and Ado (2008) ในการผลิตไมซีเลียมโปรตีนจากเชื้อรา *A. niger* โดยใช้เปลือกกล้วยเป็นสารตั้งต้น พบว่าองค์ประกอบโปรตีนและไขมันที่เชื้อราผลิตได้จากการใช้เปลือกกล้วยคิดเป็นสัดส่วน 20.4 และ 33.3 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

อย่างไรก็ตามมีจุลินทรีย์ในกลุ่ม *Bacillus* spp. ที่มีบทบาทสำคัญในการเพิ่มโปรตีนในวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่มีการรายงานไว้ ได้แก่ *B. subtilis, B. licheniformi, B. thermocatenulatus* (Suppadit et al., 2008) โดยกลไกในการเพิ่มโปรตีนเกิดขึ้นเนื่องจากจุลินทรีย์ในกลุ่มดังกล่าวสามารถผลิตเอนไซม์ย่อยโปรตีน (proteolytic enzyme) ที่เรียกว่าเอนไซม์โปรติเอส (protease) ในการย่อยโปรตีนให้เป็นแอมโมเนียและเปลี่ยนเป็นโปรตีนระดับเซลล์ของจุลินทรีย์ที่มีคุณค่าทางโภชนะที่สูง เหมาะสำหรับการใช้เป็นแหล่งอาหารโปรตีนสำหรับมนุษย์และสัตว์ นอกจากนี้มีรายงานการศึกษาพบว่าเอนไซม์โปรติเอสสามารถย่อยถั่วเหลือง มีคุณภาพดีในด้านของกลิ่นและรสชาติดีขึ้น ยืดอายุการเก็บรักษาได้นานขึ้น และเพิ่มการย่อยได้และการดูดซึมได้ดีขึ้น (Suwanpinit, 2001) ดังนั้นเชื้อ Bacillus จึงสามารถใช้เป็นเชื้อเริ่มต้นเพื่อเป็นแนวทางการเพิ่มโปรตีนของวัตถุดิบอาหารสัตว์ได้ โดยเฉพาะในการผลิตโปรตีนจากถั่วเน่า (Hesseltine and Wang, 1980) จากรายงานการศึกษาของ Lumlertgul and Boonraeng (2004) อ้างโดย Suppadit et al. (2008) ในการหมักถั่วเน่าด้วยเชื้อผสมระหว่าง *B. subtilis, B. licheniformi, B. thermocatenulatus* ที่อุณหภูมิ 35 ^{0}C พบว่า สามารถเพิ่มโปรตีนที่ละลายได้จากถั่วเน่าได้เพิ่มขึ้น

2. การลดลงขององค์ประกอบเยื่อใยในวัตถุดิบอาหารสัตว์

ความสามารถในการย่อยได้ของอาหารสัตว์ทั้งในสัตว์เคี้ยวเอื้องและสัตว์ไม่เคี้ยวเอื้องขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของอาหารเยื่อใยในวัตถุดิบอาหารสัตว์ชนิดนั้น ๆ เป็นส่วนสำคัญอย่างยิ่ง โดยเฉพาะเศษเหลือทางการเกษตรหรือทางโรงงานอุตสาหกรรมซึ่งส่วนใหญ่จะมีเยื่อใยเป็นองค์ประกอบค่อนข้างสูง ที่ถือว่าเป็นโพลิแซคคาไรด์ที่ไม่ใช่น้ำตาล (non starch polysaccharides) ซึ่งส่วนมากจะอยู่ในกลุ่มของคาร์โบไฮเดรตที่เป็นโครงสร้าง (structural carbohydrate, SC) โดยมี cellulose, hemicelluloses และ ลิกนิน เป็นองค์ประกอบหลัก โดยคิดเป็นสัดส่วน 35–50 20–35 และ 10-25 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แต่อย่างไรก็ตามปริมาณหรือสัดส่วนอาจมีความแปรปรวนไปขึ้นอยู่กับเศษเหลือฯ แต่ละชนิด (ตารางที่ 2) แต่มีคุณสมบัติในการอุ้มน้ำได้ดี (water holding capacity) ซึ่งจากคุณสมบัติดังกล่าวมีรายงานการศึกษาพบว่าส่งผลกระทบต่อสัตว์ปีก โดยทำให้การย่อยและใช้ประโยชน์จากอาหารเยื่อใยได้ค่อนข้างน้อย จึงทำให้การเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตไข่ที่ลดลง (Aderemi et al., 2004) โดยองค์ประกอบเยื่อใยในอาหารสัตว์ที่เพิ่มขึ้นทุก 1 เปอร์เซ็นต์ จะทำให้การย่อยได้ในสัตว์เคี้ยวเอื้องลดลง 1 เปอร์เซ็นต์ และ 2 เปอร์เซ็นต์ สำหรับสุกร (Aderoru et al., 2002) ดังนั้น การปรับปรุงคุณภาพเศษเหลือทางการเกษตรหรือทางอุตสาหกรรมโดยการใช้จุลินทรีย์นอกจากจะเพิ่มปริมาณโปรตีนได้แล้วยังช่วยลดองค์ประกอบของเยื่อใยในวัตถุดิบอาหารสัตว์ลงได้ จึงน่าจะเป็นอีกแนวทางทางในการเพิ่มสมรรถนะการให้ผลผลิตได้ โดยกลุ่มจุลินทรีย์ที่มีคุณสมบัติในการย่อยเยื่อใย (cellulolytic microbe) ส่วนใหญ่จะอยู่ในกลุ่มแบคทีเรีย เชื้อรา และมีบ้างในกลุ่มของโปรโตซัว ที่มีการรายงานเอาไว้มีหลากหลายสายพันธุ์ เช่น *Trichoderma harzianum*, *A. niger* และ *Penicilium* sp. เป็นต้น (Harnentis et al., 2005; Mirnawati et al., 2008 อ้างโดย Rizal et al., 2013) และชนิดของเอนไซม์ย่อยเยื่อใยที่ผลิตออกมาก็แตกต่างกันด้วย Ryu and Mandels (1980) รายงานว่า *T. reesei* มีประสิทธิภาพสูงในการผลิตและปลดปล่อยเอนไซม์ cellobiohydrolases และ endoglucanases นอกจากนี้เมื่อมีการเสริมเอนไซม์ β-glucosidase ที่ผลิตจาก *Aspergillus* spp. หมักร่วมกับเศษเหลือทางการเกษตรที่มีองค์ประกอบของ lignocelluloses สูง พบว่าสามารถใช้ประโยชน์จาก lignocelluloses ได้ดีขึ้น มีการรายงานการศึกษาการใช้กากชานอ้อย (sugarcane baggase) เป็นสารตั้งต้น (substrate) ด้วยกระบวนการ

หมักอาหารแข็ง (solid state fermentation, SSF) โดยการใช้เชื้อจุลินทรีย์ผสมระหว่าง *T. reesei* และ *A. niger*, *A. terreus* และ *A. phoenicis* พบว่าเชื้อจุลินทรีย์เหล่านี้สามารถผลิตเอนไซม์ cellulase ในการย่อยกากชานอ้อยได้ในระดับที่สูง (Muhannad et al., 2001 ; Gutierrez-Correa et al., 1999) สอดคล้องกับการรายงานการศึกษาของ Brijwani et al. (2010) พบว่า เอนไซม์ cellulase, β-glucosidase และ endocellulase มีปริมาณเพิ่มขึ้น เมื่อมีการใช้เชื้อ *T. reesei* และ *A. oryzae* หมักร่วมกันแบบ SSF โดยมีการใช้เปลือกผิวถั่วเหลือง (soybean hull) เป็น substrate ในการหมักและเสริมด้วยปลายข้าวสาลี ดังนั้น การใช้เชื้อจุลินทรีย์แบบผสม หรือ mixed culture จะสามารถผลิตเอนไซม์ได้หลายชนิดที่แตกต่างกัน เพื่อช่วยในการย่อยส่วนประกอบของเยื่อใย โดยเฉพาะที่มี lignocelluloses เป็นองค์ประกอบได้ง่าย จึงทำให้เกิดการใช้ประโยชน์โดยตัวสัตว์ได้สูงสุด

ตารางที่ 2 ชนิดของเศษเหลือทางการเกษตรและองค์ประกอบของคาร์โบไฮเดรตที่เป็นโครงสร้าง

Type of lignocellulosic waste	cellulose (wt %)	hemicelluloses (wt %)	lignin (wt %)
ฟางข้าวบาร์เลย์	33.8	21.9	13.8
ซังข้าวโพด	33.7	31.9	6.1
ต้นข้าวโพด	35	16.8	7
ฟางข้าว	36.2	19	9.9
ต้นถั่วเหลือง	34.5	24.8	19.8
กากชานอ้อย	40	27	10

ที่มา : ดัดแปลงจาก Nigam et al. (2009)

Yose et al. (2013) ศึกษาการปรับปรุงคุณภาพของกากเนื้อในปาล์ม (palm kernel cake) โดยหมักร่วมกับใช้เชื้อ *Penicillium sp*., *T. harzianum*, *A. niger* เปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม (หมักโดยไม่เติมเชื้อ) เป็นระยะเวลา 7 วัน แล้ววิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบทางเคมี และทดสอบการย่อยได้ของเยื่อใย พบว่าองค์ประกอบเยื่อใยของกากเนื้อในปาล์มหมักมีปริมาณลดลง (13.42 14.04 14.34 และ 18.86 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) แต่ปริมาณโปรตีนมีค่าเพิ่มขึ้น (26.34 26.21 28.41 และ 23.30 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) และการย่อยได้ของเยื่อใยมีค่าเพิ่มขึ้น (23.48 22.40 38.71 และ 12.02 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่หมักโดยไม่เติมเชื้อจุลินทรีย์

Samsudin et al. (2013) ศึกษาการปรับปรุงคุณค่าทางโภชนะของฟางข้าวด้วยเชื้อรา โดยแบ่งปัจจัยการศึกษาออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ ฟางข้าวหมักโดยไม่เติมเชื้อ (T1) ฟางข้าวหมักด้วยเชื้อรา *A. niger* เป็นเวลา 10 วัน (T2) และฟางข้าวที่ผ่านการหมักด้วยเชื้อยีสต์แล้วนำมาหมักร่วมกับเชื้อจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ (Effective microorganism, EM) (T3) โดยทุกปัจจัยทดสอบทำการหมักเป็นระยะเวลา 10 วัน แล้ววิเคราะห์คุณค่าทางโภชนะของฟางข้าวหมัก พบว่า ปริมาณโปรตีนมีค่าเพิ่มขึ้นในกลุ่ม 2 (5.00 6.10 และ 5.96 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) แต่องค์ประกอบของเยื่อใยที่ไม่ละลายในสารละลายที่เป็นกลาง (Neutral detergent fiber, NDF) (82.83 79.54 74.02 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) และเยื่อใยที่ไม่ละลายในสารละลายที่เป็นกรด (Acid detergent fiber, ADF) (66.45 63.69 59.74 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) และองค์ประกอบของ cellulose (59.60 62.14 และ 55.73 เปอร์เซ็นต์

ตามลำดับ) มีปริมาณลดลงในกลุ่มที่ 3 เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แต่จากการศึกษาของ Jahromi et al. (2010) ในการหมักฟางข้าวด้วยเชื้อรา *A. niger* (K8) โดยการให้ยูเรียเป็นแหล่งไนโตรเจนสำหรับเชื้อราโดยทำการหมักเป็นระยะเวลา 10 วัน พบว่า องค์ประกอบของเยื่อใย ADF และ cellulose ไม่แตกต่างกัน ปริมาณเยื่อใย NDF และ hemicelluloses ลดลง แต่องค์ประกอบของโปรตีนเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ไม่หมักและหมักแบบไม่เติมยูเรีย

นอกจากนี้ยังมีการศึกษาการใช้เชื้อรา *A. niger* เพื่อปรับปรุงคุณค่าทางโภชนะของผักตบชวา โดย Mangisah et al. (2006) พบว่าการใช้เชื้อรา *A. niger* หมักร่วมกับผักตบชวาเป็นระยะเวลา 6 วัน พบว่าปริมาณโปรตีนของผักตบชวาเพิ่มขึ้น 65.41 เปอร์เซ็นต์ และองค์ประกอบของเยื่อใยลดลง 57 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ไม่ได้หมัก ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงปริมาณโภชนะโดยเฉพาะการเพิ่มขึ้นของโปรตีนและการลดลงของเยื่อใย จึงเป็นคุณสมบัติที่ดีที่ของวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่เหมาะสมต่อการใช้เลี้ยงสัตว์

สรุป

ปัจจุบันมีการนำใช้เศษเหลือทางการเกษตรและทางโรงงานอุตสาหกรรมมาใช้เป็นอาหารสัตว์ แต่เนื่องจากเศษเหลือฯ มีคุณค่าทางโภชนะ โดยเฉพาะโปรตีนต่ำแต่มีปริมาณเยื่อใยสูง การปรับปรุงคุณภาพโดยการใช้จุลินทรีย์จึงเป็นแนวทางที่ช่วยเพิ่มคุณค่าทางโภชนะของเศษเหลือฯ ให้เหมาะสมกับการนำใช้ประโยชน์โดยตัวสัตว์ได้สูงสุด โดยจุลินทรีย์ที่นิยมใช้เพื่อช่วยเพิ่มโปรตีนในเศษเหลือฯ ประกอบด้วยกลุ่มเชื้อยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* เชื้อรา *Rhizopus oryzae, Aspergillus niger* และแบคทีเรีย *Lactobacillus delbruckii, L. coryneformis* และจุลินทรีย์ที่ช่วยลดองค์ประกอบของเยื่อใยประกอบด้วยกลุ่มเชื้อรา *Trichoderma harzianum, T. reesei*, *A. niger*, *A. terrens*, *A. oryzae*, *A. phoenicis* และกลุ่มแบคทีเรีย *Penicilium* sp. ซึ่งเมื่อหมักร่วมกับเศษเหลือฯ โดยเฉพาะเปลือกและกากมันสำปะหลัง พบว่าทำให้โปรตีนเพิ่มขึ้นถึง 40 เปอร์เซ็นต์ และองค์ประกอบเยื่อใยลดลง แต่อย่างไรก็ตามการปรับปรุงคุณภาพเศษเหลือโดยการใช้จุลินทรีย์เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดควรพิจารณาจากชนิดของ substrate เพื่อให้เชื้อใช้ในการเจริญเติบโต และการเลือกใช้เชื้อแบบเชื้อเดี่ยวหรือเชื้อผสม ความเหมาะสมระหว่างเชื้อจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์และชนิดของเศษเหลือฯ นั้นๆ น่าจะเป็นแนวทางในการช่วยให้การปรับปรุงเศษเหลือ ฯ เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น เพื่อให้เหมาะสำหรับการนำใช้ประโยชน์ได้โดยตัวสัตว์ จึงเป็นแนวทางในการลดต้นทุนค่าอาหารสัตว์และลดปัญหาการขาดแคลนวัตถุดิบอาหารสัตว์ลงได้

เอกสารอ้างอิง

Akindahunsi, A. A., G. Oboh, and A. A. Oshodi. 1999. Effect of fermenting cassava with *Rhizopus orysae* on the chemical composition of its flour and gari. Rev. Ital. Sostanze Grasse. 76:437.

Aderemi, F.A.,O.A. Ladokun, and O.O. Tewe. 2004. Study on hematology and serum biochemistry of layer fed biodegraded cassava root sieviate. Bowen J. Agric.78-83.

Aderoru, A.Z., E.A. Iyayi, and S.T. Ogunbanwo.2002. Nutritional status of palm kernel meal inoculated with *Trichoderma Harzanium*. Trop. J. Anim. Sci. 5:103-108.

Brijwani, K., Oberoi, H.S., Vadlani, P.V., 2010. Production of a cellulolytic enzyme System in mixed-culture solid-state fermentation of soybean hulls supplemented with wheat bran. Process Biochem. 45: 120-128.

Chaji, M, T.Mohammadabadi, and A. Aghaei. 2010. The effect of different methods of processing on nutritive value and degradation of rice straw by rumen mixed bacteria. J. Anim. Vet. Adv. 15: 2004-2007.

Gutierrez-Correa, M., L.Porta, P. Moreno, R.P. Tengerdy 1999. Mixed culture solid substrate fermentation of *Trichoderma reesei* with *Aspergillus niger* on sugar cane bagasse. Bioresour. Technol. 68, 173-178.

Hesseltine, C.W., and H.L. Wang. 1980. The importance of tradition fermentation foods. Bioscience. 30: 402 – 404.

Jahromi, M. F., J. B. Liang, M. Rosfarizan, Y. M. Goh, P.Shokryazdan, and Y. W. Ho. 2010. Effects of *Aspergillus niger* (K8) on nutritive value of rice straw. Afri J. Biotechnol.42:7043-7047.

Kaewwongsa, W., S. Traiyakun, C. Yuangklang, C.Wachirapakorn, and P. Paengkoum. 2011. Protein enrichment of cassava pulp fermentation by Saccharomyces cerevisiae. J. Anim Vet Adv. 10:234-2440.

Lateef, A., J. K. Oloke, E. B. Gueguim Kana, S. O. Oyeniyl, O. R. Onifade, A. O. Oyeleye, O. C. Oladosu, and A. O. Oyelaml. 2008. Improve the quality agro-wastes by solid-state fermentation : enchance antioxidant activities. and nutritional qualities. World J Microbiol Biotechnol. 24:2369-2374.

Mangish,I. Tristiart, W. Murningsih, M.H. Nasoetion, E.S. Jayanti, and Y. Astuti. 2006. Nutrient digestibility of fermented water hyacinth with *Aspergillus nige* and its influence on broiler performance. J. of the Indonesian Tropical Anim Agric. 31:124-128.

Marini, A.M., M.Y. Ayub, B. Abd. Salam, H. Hadijah, E.A. Engku Azahan, and S. Ahmad Tarmizi. 2008. Protein quality of *Aspergillus niger*-fermented palm kernel cake. J. Trop. Agric. and Fd. Sc. 36:1-13.

Mbah, G. O., N.J. Edeani, and M.I.Onyiah. 2013. Improving the nutritive value of cassava peels and cassava root sieviate through biodegradation with *Aspergillus niger*. Inter J. Current Res. 10:3082-3089.

Muhannad, I.M., W.Y. Wan Mohtar, O. Othman, and K. Jalil. 2001. Synergism of cellulase enzymes in mixed culture solid substrate fermentation. Biotechnol. Lett. 23: 1771-1774.

Nigam, P.S., N. Gupta, and A. Anthwal. 2009. Pre-treatment of agro-industrial residues, In: Biotechnology for Agro-Industrial Residues Utilization, Nigam, P.S., & Pandey, A. (Eds.) pp. 13-33, Springer, Netherlands.

Oboh, G., A.A. Akindahunsi, and A.A. Oshodi. 2002. Nutrient and anti-nutrient contents of *Aspergillus niger*-fermented cassava products (four and gari). Journal of Food Composition and Analysis. 15: 67–622.

Oboh, G., and A. A. Akindahunsi. 2003. Biochemical changes in cassava products (flour & gari) subjected to *Saccharomyces cerevisae* solid media fermentation. Food Chemistry 82:599–602.

Oboh, G., and A. A. Akindahunsi. 2005. Nutrition and toxicological evaluation of *Saccharomyces cerevisae* fermented cassava flour. Journal of Food Composition and Analysis. 18:731-738.

Oboh, G. 2006. Nutrient enrichment of cassava peels using a mixed culture *Saccharomyces cerevisae and Lactobacillus spp.* solid media fermentation techniques. *Electronic Journal of Biotechnology. 9(1): 46-49.*

Okpako, C. E., V. O. Ntui , A. N. Osuagwu, and F. I. Obasi. 2008. Proximate composition and cyanide content of cassava peels fermented with *Aspergillus niger* and *Lactobacillus rhamnosu*. J. Food Agri and Environ. 6 : 251-255.

Rizal, Y., N. Mirnawati, and M. E. Mahata. 2013. Comparisons of Nutrient Contents and Nutritional Values of Palm Kernel Cake Fermented by Using Different Fungi. Pakis J. Nutri. 12 : 943-948.

Rossi, F., A.D. Luccia, D. Vincenti, P.S. Cocconcelli. 2004. Effects of peptidic fractions from *Saccharomyces cerevisiae* culture on growth and metabolism of the ruminal bacteria *Megasphaera elsdenii*. Anim. Res. 53:177–186.

Ryu, D.Y., M. Mandels. 1980. Cellulases: biosynthesis and applications. Enzyme Microbe. Technol. 2, 91-102.

Samsudin, A.A, M.F. Masori, and A.Ibrahim. 2013. The Effects of Effective Microorganisms (EM) on the Nutritive Values of Fungal-Treated Rice Straw. Mal. J. Anim. Sci. 16: 97-105.

Senez, J. C., M. Raimbault, F. Deschamps. 1980. Protein enrichment to starchy substrate for animal feeds by solid state fermentation. Wld. Anim. Rev. 35:36-39.

Suppadit, T., L. Sangla, and S. Pintasean. 2008. A Study on Production Processes and Quality of Fermented Soybean (Thua – Nao) in the Upper North of Thailand. J. Environ Management . 4:29-37.

Suwanpinij, N. 2001. Medical Bacteriology. 2nd Ed. Bangkok: Noble Print.

Yamaya,A., and S..A. Ado. 2008. Mycelial protein production by Aspergillus niger using banana peels. Sci Wld J.4:9-12.

Yose, R.,N. Mirnawati, and M. E. Mahata. 2013. Comparisons of Nutrient Contents and Nutritional Values of Palm Kernel Cake Fermented by Using Different Fungi. Pak. J. Nutr. 10: 943-948.